

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Hafni (2015 : 108) dengan penelitian “Pengaruh Waktu Tahan Proses *Pack Carburizing* pada Baja Karbon Rendah dengan menggunakan Calcium Carbonat dan Arang Tempurung Kelapa ditinjau dari Kekerasan” menyimpulkan bahwa media karburisasi campuran 500 gram arang tempurung kelapa dan 50 gram calcium carbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), temperature pemanasan  $950^\circ\text{C}$  dan variasi waktu tahan 3 jam 4 jam dan 5 jam. Kemudian dilanjutkan dengan proses quenching. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh data kekerasan 34 hrc pada waktu tahan 5 jam. Ini menunjukkan bahan uji telah terjadi pengerasan permukaan dengan bertambahnya

Rianggoro (2008) dengan penelitian “Pengaruh *Carburizing* pada *Mild Steel* (baja lunak) Produk Pengecoran menggunakan Arang Kayu Jati dengan Waktu Tahan 3 jam, 4 jam, dan 7 jam dengan *Austempering* terhadap Sifat Fisis dan Mekanis” menyimpulkan bahwa dari hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata mulai dari terendah menuju tertinggi yaitu spesimen raw material (181,4 VHN), carburizing 3 jam (226,9 VHN), carburizing 4 jam (316,9 VHN), dan carburizing 7 jam (333,42 VHN). Kedalaman atau ketebalan difusi menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan suhu karburasi ( $925^\circ\text{C}$ ), maka ketebalan difusi karbon akan semakin besar. Namun ketebalan difusi ini tidak serta merta berbanding lurus dengan waktu penahanannya, melainkan akan sedikit melambat.

Santoso (2016) dengan penelitian “Analisa Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah dengan Metode *Pack Carburizing*” menyatakan bahwa pada proses perlakuan panas ini suhu pemanasan adalah  $875^\circ\text{C}$ , bahan bubuk karbon 100 % ,waktu penahanan adalah 15 menit, 30 menit, dan 45 menit dengan media pendinginan adalah oli SAE 40. Setelah dilakukan proses perlakuan panas dari material tersebut, maka dilakukan pengujian kekerasan . Adapun hasilnya adalah kekerasan tertinggi adalah material yang mengalami proses perlakuan panas dengan penahanan waktu paling lama yaitu 45 menit. Dan kadar

karbon paling tinggi dari hasil difusi diperoleh dari material yang mengalami proses penahanan waktu paling lama. Dari data hasil pengujian mekanik kekerasan dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa dengan perlakuan panas didapatkan material yang mempunyai kekerasan tinggi pada permukaannya dan masih lunak pada bagian dalamnya.

## **2.2 Karbon Aktif (Arang Aktif)**

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi ataupun pemanasan. (Pujiyanto, 2010)

Karbon aktif dapat dibuat melalui dua tahapan yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi adalah proses pembentukan karbon dari bahan baku dan proses ini sempurna pada suhu 400-600 °C. Sedangkan aktivasi merupakan proses pengubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan suhu antara 700-1100 °C, atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator. (Sembiring dan Sinaga, 2003)

## **2.3 Definisi Baja Karbon**

Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain, tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan unsur bawaan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja. (Suherman, 1987).

### 2.3.1 Klasifikasi Baja Karbon

Dalam ASM International Handbook Vol 5 : Surface Engineering (1994), baja karbon dapat digolongkan menurut berbagai praktik deoksidasi, sebagai baja berbingkai , baja tertutup , semi killed, atau killed steel. Praktik deoksidasi dan proses pembuatan baja akan berdampak pada karakteristik dan sifat baja. Namun, variasi karbon memiliki efek terbesar pada sifat mekanik, dengan meningkatnya kandungan karbon yang mengarah pada peningkatan kekerasan dan kekuatan. Karenanya, baja karbon umumnya di kategorikan menurut kandungan karbonnya dan secara umum mengandung hingga 2% unsur paduan.

#### 1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steels*)

Baja karbon rendah mengandung hingga 0,30% C. Kategori baja kelas terbesar ini adalah produk canai lantain (lembaran atau strip) biasanya dalam canai dingin dan kondisi anil. Kandungan karbon untuk baja formabilitas tinggi ini sangat rendah, kurang dari 0,10% C, hingga 0,4% Mn. Kegunaan khas adalah pada panel bodi mobil, pelat timah, dan produk kawat. Untuk pelat dan bagian struktural baja canai, kandungan karbon dapat ditingkatkan hingga sekitar 0,30%, dengan mangan yang lebih tinggi hingga 1,5%. Bahan-bahan terakhir ini dapat digunakan untuk stempel, tempa, tabung mulus, dan pelat ketel (ASM International Handbook Vol 5 : Surface Engineering, 1994).

#### 2. Baja Karbon Sedang (*Mid Carbon Steels*)

Baja karbon sedang mirip dengan baja karbon rendah kecuali bahwa karbonnya berkisar antara 0,30 hingga 0,60% dan mangan dari 0,60 hingga 1,65%. Meningkatkan kandungan karbon hingga sekitar 0,5% dengan peningkatan mangan yang menyertainya memungkinkan baja karbon sedang digunakan dalam kondisi padam dan marah. Penggunaan baja karbon mangan sedang termasuk poros, kopling, poros engkol, as, roda gigi, dan tempa. Baja dalam kisaran 0,40 hingga 0,60% C juga digunakan untuk rel, roda rel, dan gandar rel (ASM International Handbook Vol 5 : Surface Engineering, 1994).

### 3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steels*)

Baja karbon tinggi mengandung dari 0,60 hingga 1,00% C dengan kandungan mangan mulai dari 0,30 hingga 0,90%. Baja karbon tinggi digunakan untuk material pegas dan kabel berkekuatan tinggi (*ASM International Handbook Vol 5 : Surface Engineering*, 1994).

#### 2.3.2 Struktur Mikro Baja Karbon

Struktur mikro dari baja dapat digolongkan dalam 3 jenis bentuk fasa, yaitu:

##### 1. Fasa Ferrite

Ferrite merupakan bagian bentuk fasa dari baja yang paling lunak dan kristal dari besi murni ini saling terikat satu sama lain serta tidak teratur baik bentuk maupun ukurannya. Pada kondisi murni, struktur fasa ferrite tidak dapat digunakan sebagai raw material atau material dasar untuk komponen-komponen mesin yang menerima beban karena kekuatan yang kecil.

##### 2. Fasa Besi Karbida ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )

Besi Karbida merupakan senyawa kimia yang terbentuk dari besi (Fe) dan karbon (C) yang merupakan unsur struktur tersendiri dan memiliki sifat paling keras dan biasanya disebut sementite. Rumus kimia dari sementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) terbentuk karena tiga atom dari besi yang membentuk ikatan dengan satu atom karbon dan menjadi sebuah molekul yang disebut besi karbon.

##### 3. Fasa Pearlite ( $\alpha$ )

Pearlite merupakan campuran antara struktur fasa ferrite dan sementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dengan kadar karbon sebesar 0,8 %. Pada struktur pearlite semua kristal ferrite disisipi oleh serpihan sementite halus yang menempati lapisan tipis dan saling berdampingan, sehingga terlihat kilapan seperti mutiara. Hal tersebut yang menyebabkan dinamakan pearlite.

	Fasa dan simbol	Struktur	Pengelasan
Menurut kristal	Austenit ( $\gamma$ )	<i>fcc</i>	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.
	Ferit ( $\alpha$ )	<i>bcc</i>	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama $\text{Fe}_3\text{C}$ ( <i>sementit</i> ) atau lainnya.
	Bainit ( $\alpha$ )	<i>bcc</i>	Austenit metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya presipitasi $\text{Fe}_3\text{C}$ , unsur paduan lainnya tetap larut.
	Martensit ( $\alpha'$ )	<i>bct</i>	Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.
Menurut keadaan	Perlit		Lapisan ferit dan $\text{Fe}_3\text{C}$ .
	Widmanstaetten		$\gamma$ dan $\alpha$ dalam orientasi pada persipitasi ferit.
	Dendrit		Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.
	Sorbit		Sorbit adalah perlit halus dan trostit adalah bainit. Nama ini tidak banyak dipakai.

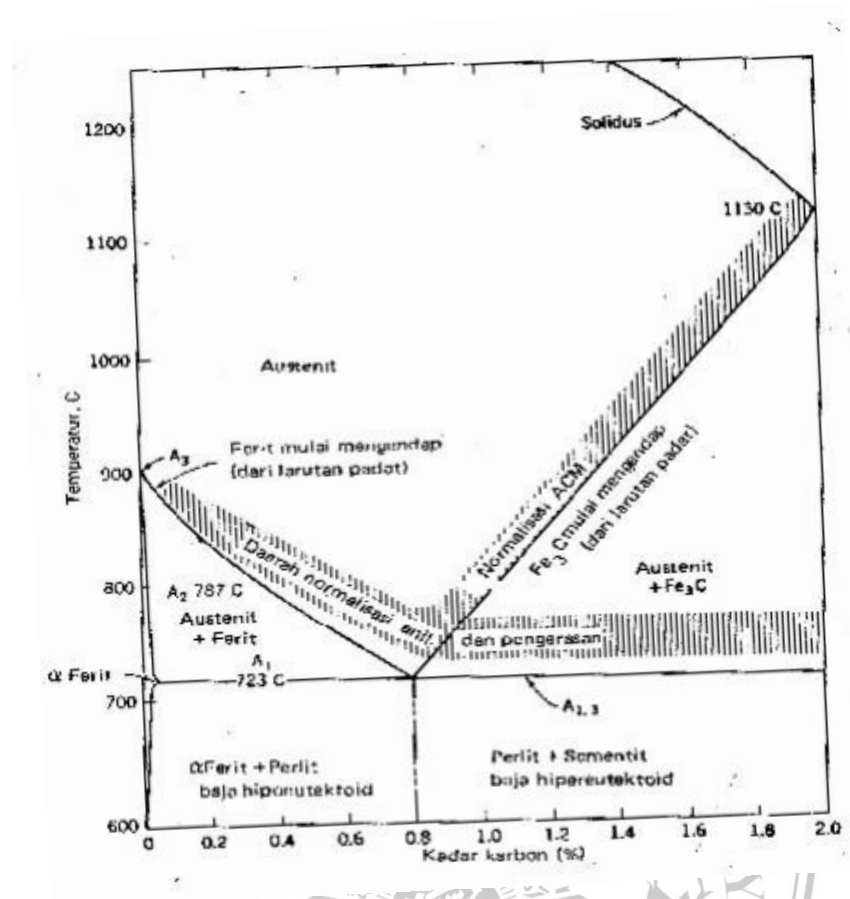
Catatan: *fcc*=face centered cubic  
*bcc*=body centered cubic  
*bct*=body centered tetragonal.

**Gambar 2.1 Struktur fasa pada baja karbon**

(Surdia & Shironkou, 1999)

### 2.3.3 Transformasi Fasa Baja Karbon

Transformasi fasa merupakan sebuah pembentukan fasa baru dengan adanya perbedaan pada struktur kristal dan komposisinya dengan logam induknya. Apabila baja dengan karbon 0,8 % atau baja eutectoid dipanaskan dengan lambat, maka pada temperatur 723 °C besi karbon akan terurai menjadi atom besi (Fe) dan atom karbon (C) sehingga atom karbon pada saat itu menjadi bebas (tidak terikat) dan melarut dalam besi. Untuk melarutkan karbon yang terdapat pada besi gamma ( $\gamma$ ), maka temperatur pada saat pemanasan diturunkan dari 906 °C menjadi 723° C, sehingga pusat kubus kisi besi gamma ( $\gamma$ ) menjadi kosong dan ditempati oleh sebuah atom karbon. Karena larutan terjadi pada temperatur ketika baja masih padat, maka struktur ini disebut juga larutan padat atau austenite (Kuswanto, 2010).



**Gambar 2.2 Diagram besi-besi karbon (Fe<sub>3</sub>-C)**

(Amstead, B.H, dkk, 1985)

Baja *hypoeutectoid* atau baja yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,8 %, maka kristal austenite dan ferrite berada di atas garis temperatur 723 °C. Apabila temperatur saat pemanasan terus dinaikkan, maka kristal ferrite akan melarut dalam austenite, sehingga pada saat melampaui garis temperatur A<sub>3</sub> - A<sub>1</sub>, semua kristal ferrite telah melarut dan menjadi struktur austenite murni. Dan apabila semakin tinggi temperature pada saat pemanasan, maka akan semakin rendah kandungan karbon di dalamnya (Kuswanto, 2010).

Baja *hypereutectoid* atau baja dengan persen karbon di atas 0,8 %, jika temperatur dinaikkan di atas garis A<sub>1,3</sub>, maka kristal besi karbida (sementite) akan melarut di dalam austenite. Apabila semakin tinggi temperature pemanasannya, maka semua kristal karbon akan larut dan terbentuk struktur fasa austenite murni dan akan semakin banyak atm karbon yang terkandung di dalamnya (Kuswanto, 2010).

### 2.3.4 Baja Konstruksi Umum (*General Construction Steel*)

Baja Konstruksi Umum merupakan jenis dari baja karbon dan baja dengan kualitas tinggi yang dipadu (paduan). Menurut (Vliet dan Both, 1984:93) baja konstruksi umum merupakan baja yang lunak atau ulet, mudah sekali diubah bentuknya (dingin atau panas), mudah dilas dan regangannya besar.

**Tabel 2.1 Jenis-Jenis Baja Konstruksi Umum berdasarkan ONORM M 3111**

Sebutan ONORM	DIN 17-100	$\sigma_H$ Kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_s$ Kg/mm <sup>2</sup>	C %	$\delta_s$ %	Ø pena
St 00 M	-	Sampai 50	-	0,12	30.....26	4a
St 34 M	St 34-2	34 – 42	19	0,12	30 .....26	0,5 a
St 37 M	St 37-2	37 – 45	21	0,16	26 .....23	a
St 42 M	St 42-2	42 – 50	23	0,25	25.....22	a
St 50 M	St 50 -2	50 -60	27	0'36	22 .....19	-
St 60 M	St 60-2	60 – 70	32	0,45	17 .....13	-
St 70 M	St 70-2	70 - 85	36	0,58	12 ..... 8	-

( Alois Schonmetz dkk,1985 )

Penggunaan baja ST 37 yang akan digunakan dalam penelitian ini didasarkan atas pertimbangan tegangan tarik minimum yang cukup tinggi. Dalam penggunaannya di bidang permesinan, baja ini sering digunakan untuk membuat baut, poros dan roda gigi.

### 2.4 Pengerasan Permukaan (*Surface Hardening*)

Pengerasan permukaan atau surface hardening merupakan suatu proses perlakuan panas untuk memperoleh pengerasan yang hanya pada lapisan permukaan saja. Dengan perlakuan pengersan permukaan, maka pada lapisan permukaan akan memiliki kekerasan yang tinggi, sedangkan pada bagian dalam tetap seperti semula dengan kekerasan yang rendah, akan tetapi masih memiliki keuletan atau ketangguhannya tinggi (Suherman, 1987).

Pengerasan permukaan digunakan untuk memperluas keserbagunaan baja tertentu dengan menghasilkan kombinasi sifat-sifat yang tidak mudah dicapai dengan cara lain. Untuk banyak aplikasi, keausan dan tekanan yang paling berat bertindak hanya di permukaan bagian. Oleh karena itu, bagian dapat dibuat dari baja karbon rendah atau sedang yang dapat dibentuk, dan permukaannya dikeraskan dengan perlakuan panas akhir setelah semua pemrosesan lainnya dilakukan. Pengerasan permukaan juga mengurangi distorsi dan menghilangkan retak yang mungkin menyertai melalui pengerasan, terutama di bagian yang besar (Krauss, 2005 : 427).

Menurut (Schonmetz, dkk, 1985), pengerasan pada permukaan yang dilakukan pada baja karbon dapat dilakukan dengan dua proses, yaitu :

1. Proses pengerasan permukaan yang dilakukan pada baja, dengan kandungan karbon lebih dari 0,35 % yang telah memenuhi syarat untuk dapat dikeraskan secara langsung. Proses perlakuan atau heat treatment pada baja ini dilakukan pada temperatur pengerasan yang dilakukan secara cepat, agar mencapai kedalaman permukaan yang tipis, dan setelah itu dilakukan proses pendinginan cepat atau quenching agar terbentuk struktur martensite pada permukaannya saja, sedangkan pada bagian intinya masih terdapat keuletan.
2. Proses pengerasan permukaan pada baja dengan kandungan atom karbon kurang dari 0,2 % (baja karbon rendah) yang tidak dapat dikeraskan secara langsung, maka dilakukan proses penambahan unsur karbon agar jumlah kandungan karbonnya meningkat sehingga dapat dikeraskan secara langsung pada lapisan permukaannya saja, karena hal tersebut tergantung pada hasil difusi karbon kedalam struktur baja pada saat proses pemanasan.

## **2.5 Definisi Waktu Tahan (*Holding Time*)**

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan cara menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen, sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. (Dalil, dkk 1999 ).



## 2.6 Definisi Karburasi (*Carburizing*)

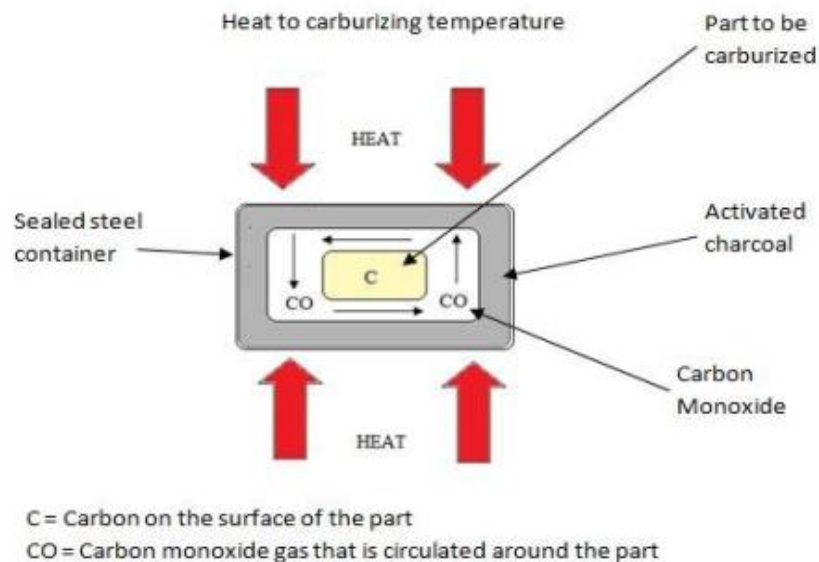
Karburasi adalah sebuah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan cara mendifusi atau menyisipkan atom karbon melalui permukaan baja sehingga pada permukaan baja mengandung banyak karbon untuk dapat dikeraskan secara langsung atau *quenching*. Proses karburasi dilakukan dengan proses perlakuan panas dengan temperature pemanasan yang cukup tinggi dalam tempat atau wadah yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga atom karbon akan berdifusi atau masuk ke dalam lapisan permukaan baja dan mencapai kadar tertentu sampai kedalaman tertentu. Pada umumnya, pada proses karburasi baja karbon rendah, diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasannya sehingga atom karbonnya lebih banyak dalam permukaannya. Unsur karbon dalam proses karburasi bisa berasal dari karbon arang kayu, arang tempurung kelapa, grafit, batubara, dan lain-lain (Suherman, 1987).

### 2.6.1 Karburasi Padat (*Pack Carburizing*)

Karburasi padat adalah proses pengemasan bagian dalam media karbon tinggi seperti serbuk karbon atau serutan besi cor dan dipanaskan dalam tungku selama 12 sampai 72 jam pada temperatur 900 °C (1652 °F). Gas CO diproduksi pada suhu ini yang merupakan agen pereduksi kuat. Karena suhu tinggi, karbon menyebar ke permukaan karena reaksi reduksi terjadi pada permukaan baja. Berdasarkan perhitungan eksperimental dan teoritis pada teori difusi, bagian-bagian tersebut dihilangkan dan dapat dikenai metode pengerasan normal ketika karbon yang cukup diserap di dalam bagian tersebut. (Krauss, 1991)

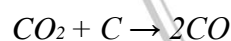
Proses *pack carburizing* dilakukan dengan mengatur temperaur pemanasan hingga mencapai temperatur kritis di atas temperatur  $A_{c1}$ , karena pada temperatur ini, baja memiliki kecenderungan untuk berafinitas dengan atom karbon sehingga karbon akan dapat masuk kedalam permukaan baja dan membentuk larutan padat. Apabila proses karburasi ini dilakukan dengan penahanan waktu yang cukup lama, maka lapisan permukaan pada baja akan memiliki kandungan karbon lebih tinggi. Proses perlakuan panas dengan temperatur austenisasi antara 850 °C hingga 950 °C,

maka akan menyebabkan media karbon teroksidasi dan menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ). Gas  $\text{CO}$  akan bereaksi dengan permukaan baja sehingga membentuk karbon yang masuk atau berdifusi ke dalam lapisan permukaan baja (Kuswanto, 2010).

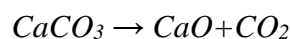


Gambar 2.3 Proses dalam pack carburizing (Sarma, 2003)

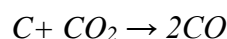
Reaksi pengkarbonan dapat dijelaskan sebagai berikut :



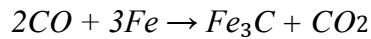
Sebagai sumber  $\text{CO}_2$  diperoleh dari bahan tambahan berupa  $\text{CaCO}_3$  sehingga akan menghasilkan reaksi :



Akibat semakin tingginya temperatur pada saat pemanasan maka  $\text{CO}$  akan lebih banyak terbentuk daripada  $\text{CO}_2$ , sehingga terjadi reaksi kimia :



Pada suhu pengkarbonan, reaksi ini selalu berlangsung kekal. Karbon monoksida bebas bereaksi dengan besi seperti pada reaksi berikut :



Semakin banyak kandungan karbon pada permukaan, maka atom karbon akan mulai berpindah menuju inti melalui mekanisme difusi. Masuknya karbon kedalam baja tergantung pada temperature pemanasan, waktu tahan (holding time), dan sumber karbon. Pada proses pengarbonan padat menggunakan arang yang dicampur dengan 10% zat  $CaCO_3$ , dan dimasukkan pada suatu wadah dan ditutup rapat dan kemudian dilakukan proses perlakuan panas. Dengan demikian permukaan baja akan mempunyai kadar karbon yang lebih tinggi. Kandungan karbon akan bervariasi dalam arah menuju inti. Pada permukaan kandungan karbon tinggi, dan akan berkurang dalam arah menuju inti. Konsekuensinya struktur mikro akan berubah pula dari permukaan menuju inti. Dikarenakan saat proses pengarbonan terjadi pemanasan pada suhu tinggi dan dalam waktu yang lama, maka akan dihasilkan struktur baja yang kasar. Dimensi struktur mikro juga sangat berpengaruh terhadap kekerasan baja (Clark, 1961)

Kemampuan dari atom karbon untuk masuk kedalam atom pada baja mengakibatkan terbentuknya larutan padat dan menyebabkan kandungan atau kadar karbon meningkat, sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya kekerasan permukaannya dan ketahanan ausnya.

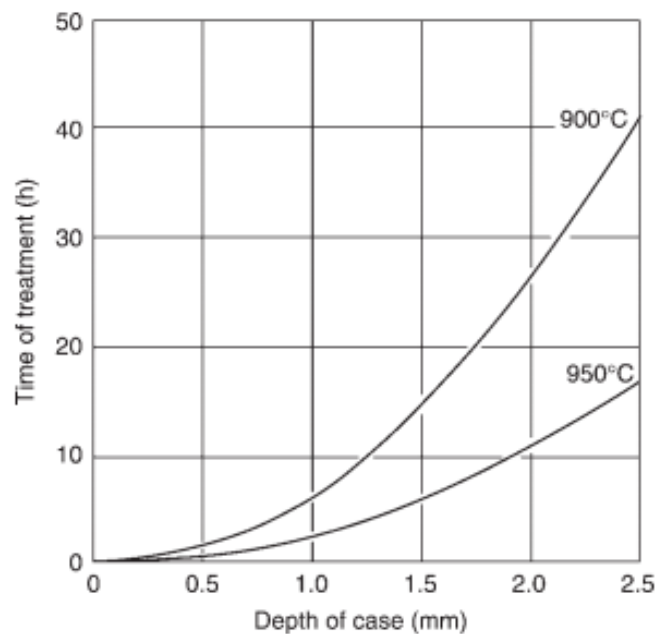
Menurut (Amstead, B.H, 1985), kedalaman dari lapisan karburasi (*Case Depth*) dapat disebabkan oleh kandungan karbon dari baja, temperature pemanasan dan waktu tahan selama proses karburasi. Tebal atau kedalaman lapisan karbon pada permukaan baja (*Case Depth*) yang dapat dihasilkan dengan metode karburasi padat berkisar antara 0,75 hingga 4 mm. Rumus untuk menentukan tebal atau kedalaman lapisan karbon adalah sebagai berikut :

$$Case\ Depth = \frac{31,6 \sqrt{t}}{10^{\left(\frac{6700}{T}\right)}}\ inch.$$

dimana :        T        = Temperatur pada saat proses karburasi (Rankine)

                  t        = Waktu tahan pada saat proses karburasi ( jam )

(Boyer dan Gall, 1985)



**Gambar 2.4** Hubungan antara waktu pemanasan, temperatur, dan kedalaman lapisan pada proses carburizing menggunakan media padat (0,15% baja karbon biasa)

(Higgins, 2006)

### 2.6.2 Karburasi Cair (*Liquid Carburizing*)

Karburasi Cair (*Liquid Carburizing*) adalah karburasi yang dilakukan dalam rendaman garam cair yang mengandung 20 hingga 50 persen natrium sianida, bersama dengan sebanyak 40 persen natrium karbonat, dan berbagai jumlah natrium atau barium klorida. Campuran sianida dipanaskan dalam pot besi hingga suhu 870 hingga 950 ° C dan direndam dalam waktu sekitar lima menit lebih sesuai dengan kedalaman wadah yang diperlukan. Karburasi terjadi karena dekomposisi natrium sianida pada permukaan baja. Atom karbon dan nitrogen dilepaskan, jadi pengerasan sianida disebabkan oleh penyerapan nitrogen dan juga karbon (Higgins, 2006 : 182).

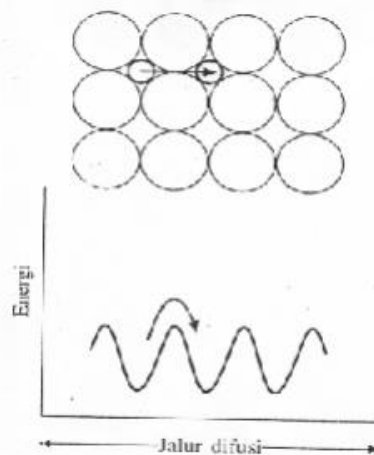
### 2.6.3 Karburasi Gas (*Gas Carburizing*)

Karburasi gas dilakukan di tungku bertumpuk pada temperatur 900 ° C selama tiga jam atau lebih di atmosfer yang mengandung gas yang akan menyimpan

atom karbon di permukaan komponen. Gas-gas yang umumnya digunakan adalah hidrokarbon metana (gas alam) dan propana (produk sampingan dari produksi minyak bumi). Ini harus dari kemurnian tinggi, jika tidak jelaga berminyak dapat disimpan pada benda kerja. Hidrokarbon biasanya dicampur dengan gas pembawa (umumnya campuran nitrogen, hidrogen dan karbon monoksida) yang memungkinkan sirkulasi gas yang lebih baik dan karenanya keseragaman perlakuan yang lebih besar (Higgins, 2006 : 182).

## 2.7 Difusi Atom

Difusi merupakan proses transfer materi melalui materi lain. Transfer materi ini dapat berlangsung karena atom selalu bergerak oleh agitasi thermal. Walaupun sesungguhnya gerak tersebut merupakan gerak acak tanpa arah tertentu, namun secara keseluruhan ada arah neto dimana entropi akan meningkat. Difusi merupakan proses *irreversible*. Pada fasa gas dan cair, peristiwa difusi mudah terjadi serta pada fasa padat difusi juga terjadi walaupun memerlukan waktu lebih lama (Sudirham dan Utari, 2010).



**Gambar 2.5 Pergerakan atom dengan energy aktivasi.**

(Van Vlack, 2004)

Dalam gambar diatas, pada saat suhu pemanasan meningkat sehingga atom-atom didalam cairan padat mengalami vibrasi yang lebih energitik dan sebagian kecil fraksi dari atom tersebut akan mengalami perubahan posisi dalam kisi. Perubahan tersebut bukan hanya disebabkan oleh suhu pemanasan, tetapi juga disebabkan oleh seberapa eratnya atom-atom yang terikat pada posisinya. Energi

yang diperlukan oleh sebuah atom untuk mengubah posisi dalam kisi merupakan energi aktivasi. Atom karbon memiliki bentuk yang cukup kecil sekitar 0,07 nm. Bentuk ini bisa menduduki posisi interstisial pada celah yang terdapat pada besi jika atom karbon memiliki cukup energi. Energi yang dibutuhkan oleh atom karbon yang akan menjalankan difusi sekitar 34000 kal/mol. (Van Vlack, 2004)

Aliran dari difusi atom karbon didalam baja pada saat proses karburasi dapat ditentukan dengan persamaan dengan menggunakan Hukum Fick I untuk kondisi steady sebagai berikut :

$$J_x = -D \frac{\partial C}{\partial x} \left( \frac{\text{Atom}}{\text{m}^2 \text{s}} \right)$$

Dan persamaan dengan menggunakan hukum Fick II untuk kondisi un-steady sebagai berikut :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right)$$

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \text{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$$

Dimana :  $J_x$  = Laju Difusi

$D$  = Difusivitas ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$C_s$  = Konsentrasi atom menyebar di permukaan material.

$C_0$  = Konsentrasi seragam awal atom yang menyebar dalam material.

$C_x$  = Konsentrasi atom yang menyebarkan di lokasi  $x$  dibawah permukaan setelah waktu  $t$ .

$t$  = Waktu (s)

$x$  = jarak dari permukaan

$\text{erf}$  = Fungsi error Gaussian

$D \frac{\partial C}{\partial x}$  = Konsentrasi Gradien ( $\text{atom}/\text{cm}^3 \cdot \text{cm}$ )

Pengaruh terhadap ketergantungan temperatur dari koefisien difusi dapat ditentukan dengan persamaan arrhenius sebagai berikut :

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) [m^2/dt]$$

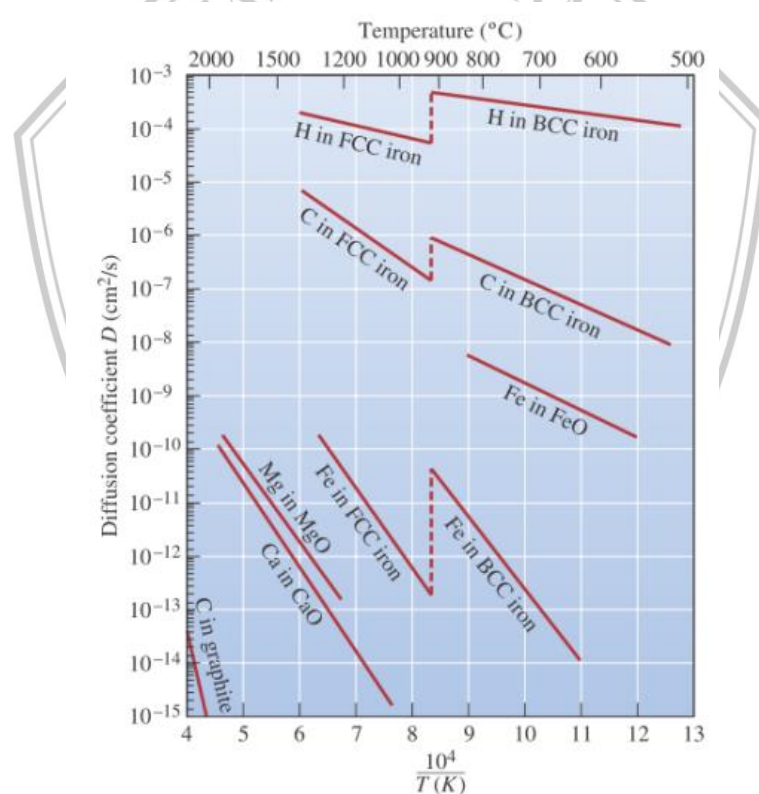
(Shackelford, 1992)

Dimana :  $D_0$  = Konstanta untuk sistem difusi yang nilainya sama dengan nilai koefisien difusi pada  $1/T = 0$  atau  $T = \infty$

$Q$  = Energi yang diperlukan untuk aktivasi (Cal/mol.)

$R$  = Konstanta Gas (1,987 cal/mol.K)

$T$  = Suhu ( $^{\circ}$  K)



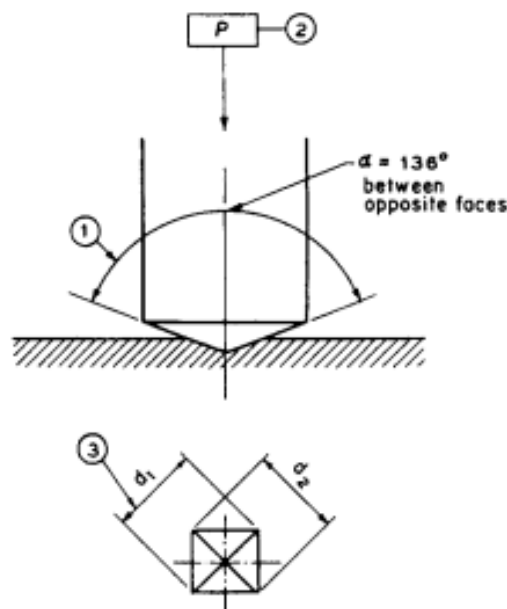
**Gambar 2.6 Koefisien difusi untuk atom**

## 2.8 Pengujian Kekerasan

Ketahanan dari suatu material logam terhadap beban tekan atau indentasi disebut Kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan maksud untuk mengukur ketahanan dari material logam terhadap deformasi plastis. Prinsip pengukuran kekerasan adalah dengan cara memberi beban tekan melalui sebuah indenter pada permukaan logam lalu dilakukan pengukuran diameter dari bekas indentasi. Biasanya indenter yang digunakan pada pengujian kekerasan adalah berbentuk bola, piramida atau kerucut. Metode dari pengukuran kekerasan yang banyak digunakan adalah dengan metode Rockwell, Brinell, dan Vickers (Dieter, 1996).

### 2.8.1 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian dengan metode vickers dilakukan dengan menggunakan indenter yang berbentuk seperti piramida intan dengan sudut puncak  $136^\circ$ . Pada pengujian ini dilakukan dengan memberi pembebanan yang sangat kecil dengan beban sebesar 5-120 kg (Dieter, 1996).



**Gambar 2.7 Metode pengujian kekerasan vickers**

(ASTM E 92-82)



Uji kekerasan Vickers dapat disesuaikan dengan sebagian besar spesimen uji mulai dari batangan besar dan roll hingga potongan kecil dalam dudukan metalografi. Permukaan harus rata, dipoles, dan didukung dengan normal pada sumbu indenter. Jarak dari pusat lekukan ke lekukan lain atau dari tepi spesimen harus setidaknya 2,5 kali panjang diagonal. Ketebalan spesimen uji harus sedemikian sehingga tidak ada tonjolan atau tanda yang muncul pada permukaan bawah langsung berlawanan dengan lekukan, dan direkomendasikan bahwa ketebalan benda uji sama dengan 1,5 kali panjang diagonal lekukan. Karena kedalaman uji Vickers kira-kira 1/7 dari diagonal, aturan praktisnya adalah bahwa ketebalan testis harus 10 kali kedalaman indentasi (ASM International Handbook Vol : 8, 2000).

### 2.8.2 Persamaan Yang Terkait dengan Pengujian Kekerasan Vickers

Angka kekerasan Vickers (sebelumnya dikenal sebagai DPH untuk kekerasan piramida intan) adalah angka yang berkaitan dengan gaya yang diterapkan dan luas permukaan dari lekukan yang belum pulih yang diukur yang dihasilkan oleh indenter berlian piramidal basis persegi. Indenter Vickers telah memasukkan sudut wajah  $136^\circ$  dan berdasarkan ASTM E 92-82 angka kekerasan Vickers ( $V_{HN}$ ) dihitung dari persamaan berikut :

$$V_{HN} = \frac{2 \cdot P \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \left( \frac{kg}{mm^2} \right)$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

sehingga diperoleh :

$$V_{HN} = \frac{1.854 P}{d^2} \left( \frac{kg}{mm^2} \right)$$

Dimana: P = Pembebanan (kg)

d = Jejak indentasi (mm)

$\theta$  = Sudut Puncak  $136^\circ$

## 2.9 Definisi Keausan (*Wear*)

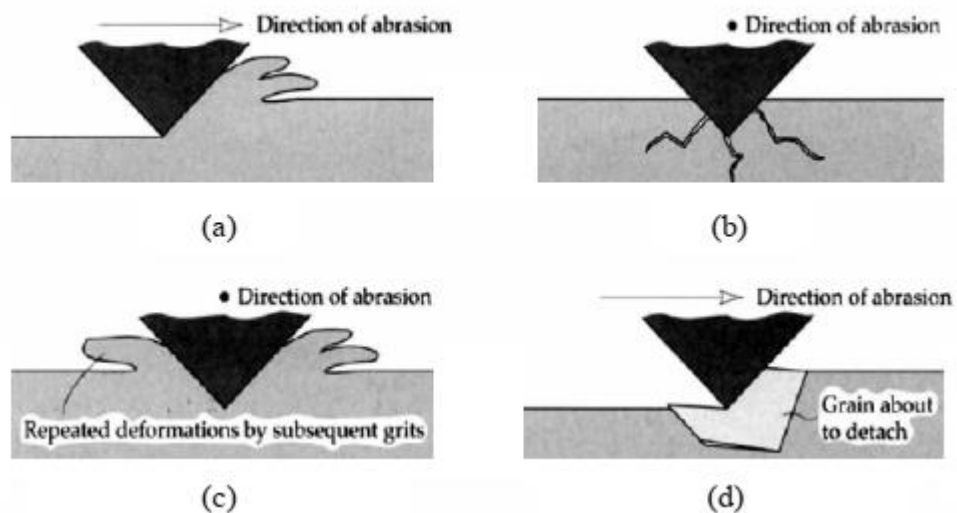
Menurut Hamzah dan Iqbal (2008 : 171), keausan merupakan kerusakan pada permukaan padat yang disebabkan oleh material yang hilang akibat dari gaya mekanik dan pada benda yang kekerasannya lebih rendah maka akan dapat menyebabkan keausan yang lebih tinggi. Banyak sekali faktor-faktor yang dapat menyebabkan keausan, diantaranya seperti kekerasan permukaan, kecepatan gerak, besarnya gaya yang diterima, dan lain-lain. Menurut (Koji Kato, 2001) ada tiga macam jenis keausan, yaitu :

### 2.9.1 Keausan Mekanik

Keausan yang disebabkan oleh perilaku mekanik dapat digolongkan menjadi 4 jenis keausan yaitu keausan abrasif, adesif, aliran, dan kelelahan

#### 1. Keausan Abrasif

Keausan abrasif dapat terjadi karena apabila permukaan dari suatu material yang keras dan kasar bergesekan dengan permukaan yang lebih lunak dan menghasilkan goresan (Koji Kato, 2001).



**Gambar 2.8 Mekanisme keausan abrasif**

(Koji Kato, 2001)

## 2. Keausan Adhesif

Keausan adhesif merupakan keausan yang dapat disebabkan karena permukaan dari suatu material yang lebih lunak menempel atau melekat pada permukaan material yang lebih keras (Koji Kato, 2001).

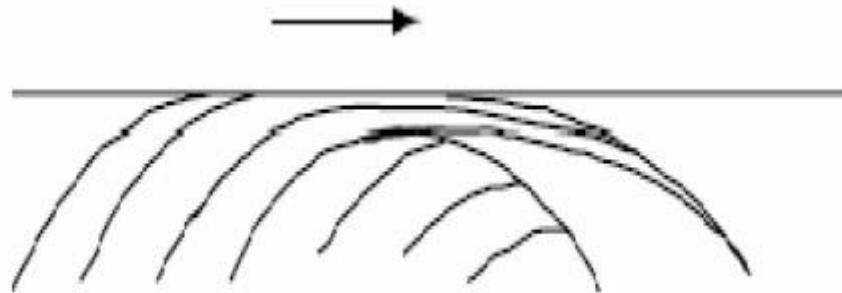


**Gambar 2.9 Mekanisme keausan adhesif**

(Koji Kato, 2001)

## 3. Keausan Aliran

Keausan aliran dapat disebabkan apabila partikel permukaan yang lebih lunak terjadi hubungan dengan material lain yang lebih keras sehingga material yang lunak akan mengalir, meleleh, atau tergeser secara plastis (Koji Kato, 2001).



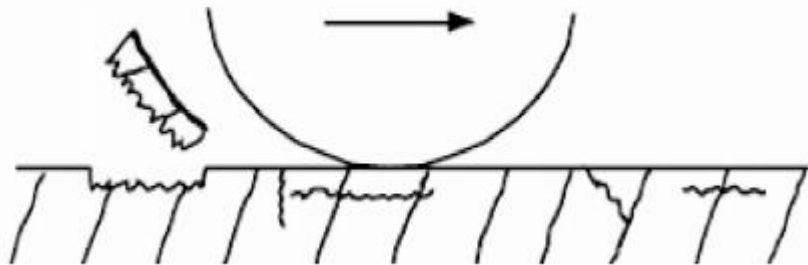
**Gambar 2.10 Keausan aliran yang disebabkan oleh penumpukan aliran geseran plastis**

(Koji Kato, 2001)

## 4. Keausan Lelah

Keausan ini dapat terjadi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*) sehingga terjadi perambatan retak lelah dan biasanya tegak lurus pada

permukaan tanpa deformasi plastis yang besar. Contohnya seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya (Koji Kato, 2001).



**Gambar 2.11 Keausan Lelah karena retak pada bagian dalam dan merambat**

(Koji Kato, 2001)

### 2.9.2 Keausan Akibat Perilaku Kimia

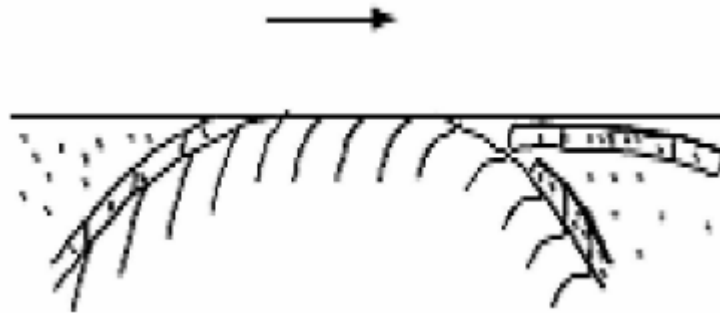
Ada 2 jenis keausan yang disebabkan akibat perilaku kimia, yaitu keausan oksidatif (*oxydative wear*) dan keausan korosif (*corrosive wear*).

#### 1. Keausan Oksidatif

Keausan ini dapat terjadi karena adanya peningkatan kecepatan geser dan beban rendah, lapisan oksida tipis, tidak lengkap, dan rapuh terbentuk. Pada percepatan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida menjadi berkelanjutan dan lebih tebal, mencakup seluruh permukaan. (Koji Kato, 2001).

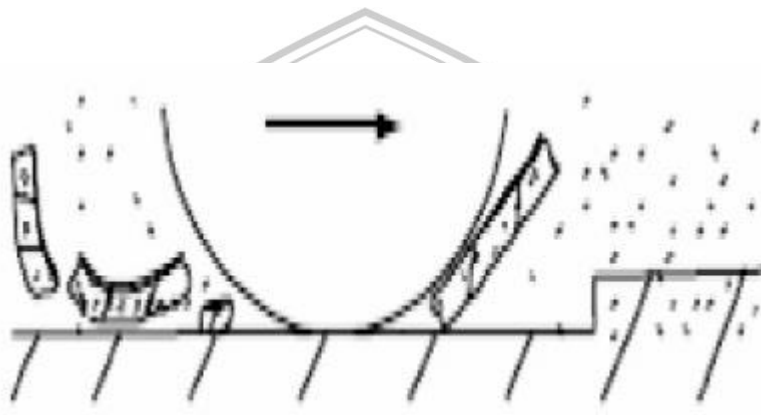
#### 2. Keausan Korosif

Keausan ini ditandai oleh batas butir yang korosif sehingga terjadi pembentukan lubang, misalnya pada permukaan *sliding* di dalam lingkungan yang korosif (Koji Kato, 2001).



**Gambar 2.12 Keausan korosif karena patah geser pada lapisan lentur**

(Koji Kato, 2001)



**Gambar 2.13 Keausan korosif karena pengelupasan pada lapisan yang rapuh**

(Koji Kato, 2001)

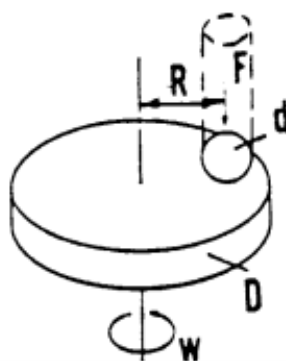
### **2.9.3 Keausan Akibat Perilaku *Thermal***

Ada 2 jenis keausan akibat perilaku thermal, yaitu Keausan Leleh yang merupakan keausan karena panas yang timbul akibat adanya gesekan pada benda sehingga menyebabkan lelehnya permukaan keausannya. Keausan Difusi adalah keausan yang terjadi karena terdapat pancaran dari elemen yang melintasi bidang kontak dengan kecepatan tinggi (Koji Kato, 2001).

### **2.9.4 Pengujian Keausan Tribometer *Pin On Disk***

Berdasarkan ASTM G 99-95a metode pengujian ini menjelaskan prosedur laboratorium untuk menentukan keausan material saat meluncur menggunakan

metode *pin on disk*. Untuk pengujian ini, diperlukan dua spesimen yaitu dengan pin berbentuk silinder yang diberi beban dan diposisikan tegak lurus terhadap disk datar yang berbentuk bundar. Diameter pin berkisar antara 2 hingga 10 mm dan diameter disk berkisar dari 30 hingga 100 mm dan memiliki ketebalan dalam kisaran 2 hingga 10 mm. Dalam pengujian ini menyebabkan spesimen disk atau spesimen pin berputar di sekitar pusat disk. Bidang pada disk bisa diposisikan secara horizontal maupun vertikal.



**Gambar 2.14 Skema pengujian keausan *Pin On Disk***

Dimana  $F$  adalah gaya normal (N),  $d$  adalah diameter pin pengaus,  $D$  adalah diameter disk (mm),  $R$  adalah jari-jari jejak goresan keausan (mm), dan  $W$  adalah kecepatan rotasi disk (rpm). Jumlah keausan ditentukan dengan mengukur dimensi linier yang sesuai dari kedua spesimen sebelum dan sesudah pengujian, atau dengan menimbang kedua spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Jika langkah-langkah keausan linear digunakan, perubahan panjang atau perubahan bentuk pin dan perubahan kedalaman atau bentuk trek keausan disk (dalam milimeter) ditentukan oleh teknik metrologi yang cocok seperti pengukur jarak elektronik. Hasil dari pengukuran keausan dinyatakan dalam satuan  $\text{mm}^3$ .

Metode uji ASTM memungkinkan metode kehilangan geometris dan massa untuk menentukan keausan tetapi dalam kedua kasus pengukuran harus dikonversi menjadi kehilangan volume yaitu dilakukan dengan membagi kehilangan massa dengan kepadatan. Dengan pendekatan geometris, ini dilakukan dengan mengubah dimensi linier terukur menjadi volume menggunakan hubungan yang sesuai untuk geometri bekas goresan aus. Misalnya, dalam hal keausan yang diabaikan pada satu

anggota dan pin berujung bulat, lebar bekas luka dapat digunakan untuk mencari volume dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Pin (ujung bulat) Volume Loss

$$V = \left( \frac{\pi}{64} \right) \times \left( \frac{W^4}{R} \right)$$

Dimana :  $V$  = Volume keausan ( $\text{mm}^3$ )

$W$  = Diameter goresan pda pin (mm)

$R$  = Jari-jari bola pada pin (mm)

2. Disk Volume Loss

$$V = \left( \frac{\pi}{64} \right) \times D \times \left( \frac{W^3}{R} \right)$$

Dimana :  $V$  = Volume keausan ( $\text{mm}^3$ )

$D$  = Jari-jari track keausan (mm)

$W$  = Diameter goresan pada disk (mm)

$R$  = Jari-jari disk (mm)

